

СУЧАСНІ АВІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 629.735.083(075.8)

А. Г. Кучер, д-р. техн. наук, проф.
Мустафа А. Мустафа, асп.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТРЕБНОСТИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВИАКОМПАНИИ

НАУ, кафедра авиационных двигателей Аэрокосмического института

Рассмотрены вопросы прогнозирования отказов и оптимизация потребности в запчастях на основании контроля надежности и ресурсного состояния парка воздушных судов авиакомпаний.

The problems of prognostics failure and optimization of need(requirement) in spare parts ground of control reliability of a park aircrafts of airlines are reviewed.

Введение

Для обеспечения безопасности и регулярности полетов, экономического использования самолетов авиакомпании с выполнением регламентных работ и ремонта через фиксированные промежутки времени необходимо не только быстро выявить и устранять отказы, но и суметь предсказать появление отказов, т. е. суметь прогнозировать отказы изделий и вместе с ними потребности в запчастях. Под прогнозированием отказов понимают научно обоснованное предсказание моментов возникновения отказов на основе показателей надежности самолетов авиакомпании в процессе их эксплуатации. Развивающиеся методы технической диагностики раннего обнаружения отказов являются одним из важнейших направлений повышения безотказности летательных аппаратов, безопасности полетов и экономического использования самолетов авиакомпании.

Задача материально-технического снабжения авиакомпании

Возможная нехватка запасных элементов увеличивает среднее время замены отказавшего элемента исправным запасным (среднее время ремонта изделия), причем ограниченность объема системы запасных инструментов и приспособлений (ЗИП) может весьма существенно сказаться на значении показателей надежности объекта (коэффициента готовности), и ее нельзя не учитывать при расчетах надежности.

Практика показывает, что затраты на систему ЗИП сравнимы с затратами на сам объект, поэтому возникают задачи прогнозирования количества отказов, планирования потребности в запасных частях и проектирования системы ЗИП, обеспечивающих заданный уровень надежности объекта при минимальных затратах.

Автоматизация процесса материально технического снабжения обеспечивается на основе использование информационных ресурсов трех основных систем информационного обеспечения процесса технической эксплуатации воздушных судов (ВС) авиакомпании:

1) автоматизированные системы (АС) учета и контроля наработки и ресурсного состояния планера, двигателей, вспомогательных силовых установок (ВСУ) и агрегатов ВС и их движение и изменение состояния в эксплуатации (АС «Учет наработок»);

2) АС учета отказов и неисправностей, контроля и прогнозирования показателей надежности изделий авиационной техники (АТ) (АС «Надежность ВС»);

3) АС материально-технического обеспечения (АС «МТО»).

Автоматизированная система учета отказов и неисправностей, контроля и прогнозирования показателей надежности изделий АТ обеспечивает:

- регистрацию отказов и неисправностей основных и комплектующих изделий ВС, которые возникли в полете или при проведении ТО;

- получение справок об отказах и неисправностях конкретных типов и номеров ВС, двигателей, вспомогательных силовых установок (ВСУ), их систем и агрегатов за любой подконтрольный календарный период эксплуатации или наработку;

- расчет абсолютных и относительных показателей надежности систем, подсистем и агрегатов (комплектующих изделий), а также основных изделий (планера, двигателей, ВСУ) и функциональных систем ВС;

- контроль надежности комплектующих изделий по заданным уровням сравнительный контроль надежности изделий по периодам

эксплуатации, контроль впервые выявленных и повторных дефектов;

- прогнозирование показателей надежности изделий ВС на заданный налет парка или календарный срок эксплуатации;

- формирование потребности в запасных частях взамен отказавших изделий.

На основании информации АС «Надежность ВС» обеспечивается формирование данных для задачи материально-технического снабжения. Основными транзакциями для этого являются:

- агрегаты, снятые с самолетов по (отказу) неисправности;

- агрегаты, снятые по отказу и отремонтированные в АТБ;

- агрегаты, снятые по отказу и направленные в ремонт (вне АТБ);

- агрегаты, снятые по рекламации;

- средние наработки агрегатов на отказ (Т) и количество отказов на 1000 ч наработки (К1000);

- средние наработки агрегатов на снятие и К1000 на снятие;

- показатели надежности (ПН) конкретных агрегатов по годам эксплуатации;

- сравнение значений ПН по наработкам и ПН по годам эксплуатации;

- сравнение реальных наработок агрегатов на отказ с эталонными наработками;

- количество отказов и неисправностей агрегатов по типам, системам и видам оборудования;

- коэффициенты надежности агрегатов.

Эта информация используется при прогнозировании надежности и количества отказов конкретных типов изделий восстанавливаемых внутри АТБ, формировании потребности в запасных частях, формировании заказов комплектов запчастей.

Автоматизированная система «Учета наработок» должна обеспечивать введение данных о наработках основных изделий (планера, двигателей, ВСУ) и агрегатов (комплектующих изделий) после каждого полета с целью определения остатка ресурсов агрегатов и учета влияния истории эксплуатации конкретного ВС на показатели надежности парка. Учет наработок агрегатов ведется по наработкам основных изделий: планера, двигателя, ВСУ. В модуле должны быть реализованные следующие функции:

- формирование базы данных справок за рейс (индивидуальный учет наработок за рейс основных и комплектующих изделий);

- расчет наработок основных изделий и агрегатов;

- учет и ведение ресурсов изделий;

- предупреждение о критических остатках ресурсов изделий.

Автоматизированная система «МТО» предназначена для автоматизации ведения складского учета, информирования о поступлении, затратах и наличии материальных средств в авиакомпании, наблюдении за уровнем неснижаемого запаса, состояния годовой заявки. В модуле должны быть реализованные следующие функции:

- регистрация складов материально-технического обеспечения (МТО) и подразделов АТБ, таблица местоположений для подразделов АТБ;

- регистрация персонала (кладовщиков);

- регистрация служб предприятия;

- регистрация списка документов МТО на предприятии;

- таблица условных обозначений единиц измерения стоимости и количества;

- список поставщиков;

- обработка первичных документов;

- ведение складского учета;

- список чертежных номеров и величин неснижаемого запаса;

- приход оборудования на склады МТО;

- списание оборудования со складов МТО;

- ведение индивидуальной карточки изделия;

- информирование о наличии оборудования на складах МТО на текущий момент времени и об уровне неснижаемого запаса изделий;

- информирование о наличии оборудования на складах АТБ на текущий момент времени и об уровне неснижаемого запаса.

Формирование потребности в запасных частях и управление запасами комплектующих изделий осуществляется на основе информации из трех рассмотренных систем.

Комплекс представляет собой совокупность модулей, которые автоматизируют информационные процессы, связанные с контролем наличия и состояния, учетом движения, формированием необходимого запаса агрегатов, которые входят в номенклатуру цеха подготовка производства. Заявки на запчасти и затратные материалы рассчитываются на основе статистики затрат на прошедшие года через нормы затрат на десять тысяч часов налета парка. Заявки на паспортизованные агрегаты рассчитываются на основе статистики отказов агрегатов и данных об остатках ресурсов агрегатов.

Комплекс включает такие модули:

- формирование годовой поквартальной заявки;

- формирование месячной заявки;

- оперативное управление запасами.

Модуль формирования годовой заявки предназначен для автоматизации проведения заявочной кампании и реализует такие функции:

- расчет и корректирование заявок на заданный год (с разбивкой по кварталам) на заказ агрегатов 1-й категории и на отправку агрегатов в ремонт;
- расчет заявок на закупку запчастей и затратных материалов;
- расчет суммы затрат на заявки по текущим ценам.

Модуль оперативного управления запасами реализует такие функции:

- расчет рационального неснижаемого оперативного запаса агрегатов по данным прогноза за 30 дней; учитывается прогноз плановых заявок (поток требований на ТО агрегатов, которые поступают из цеха периодического ТО, а также поток агрегатов, выработавших ресурс), и прогноз внеплановых заявок (прогноз отказов и досрочных съемов агрегатов);
- формирование суточной задачи лабораториям цеха авиационного и радиотехнического оборудования на проверку и восстановление агрегатов из условия обеспечения неснижаемого запаса и оперативных потребностей агрегатов по критерию обеспечения равномерности загрузки лабораторий;
- формирование списка дефицитных агрегатов по результатам формирования суточной задачи и оперативной заявки на склад авиакомпании и т.п.;
- контроль за сроками сохранения, консервация, переосвидетельствования агрегатов на складах и в комплекточных;
- справочный режим о прогнозе заявок, о наличии агрегатов, их текущем состоянии и местонахождении, паспортных данных.

Результаты проведенных исследований и опыт эксплуатации самолетов свидетельствуют о высокой эффективности программ технического обслуживания и ремонта, основанных на рациональном сочетании стратегии технического обслуживания изделий авиационной техники по состоянию с контролем уровня надежности

Контроль уровня надежности производится на основании информации об отказах и неисправностях авиационной техники с обязательной проверкой на правильность внесения следующих данных: типа авиатехники, даты отказа, бортового номера, наработки самолета в летных часах и посадках при обнаружении отказа.

К эксплуатации по этому методу допускаются изделия, отказы которых не влияют на безопасность полетов при существенном разбросе

значения наработок до отказа. Закон распределения времени безотказной работы может быть любым, но для изделия с возрастающей интенсивностью отказов условием применения метода технической эксплуатации до отказа (ТЭО) является превышение (или равенство) стоимости профилактических работ по ТЭО над стоимостью неплановых замен.

Контроль уровня надежности с целью снижения уровня затрат включает:

- раннее предупреждение о значительных неслучайных изменениях уровня надежности;
- непрерывное наблюдение за тенденцией изменения уровня надежности;
- оценку эффективности эксплуатации комплектов изделий;
- формирование потребности в запчастях.

Важной особенностью стратегии обслуживания с контролем уровня надежности является ее исследовательская направленность, ориентирующая авиакомпанию на регулярное оценивание пригодности самолета к безопасной и экономической эксплуатации. На основании полученных оценок осуществляется единственный для этой стратегии способ управления надежностью путем реализации мероприятий, оказывающих воздействие на весь парк эксплуатируемых изделий данного типа. Применение стратегии обслуживания с контролем уровня надежности изделий должно производиться с учетом их эксплуатационных свойств, характеристик надежности, а также реальных возможностей для выполнения изложенных выше задач. Эффективная эксплуатация по этой стратегии возможна при налаженном и своевременном снабжении запасными частями.

В эксплуатационной практике для оценки и поддержания неснижаемых запасов комплектующих изделий и запасных частей используют различные модели формирования потребности в запчастях. Наиболее часто в этих целях применяют вероятностные модели, которые базируются на данных об отказах и неисправностях авиационной техники за предыдущий период, а также данных об остатках ресурсов и планируемом налете на прогнозируемый период. Наиболее обоснованными и приспособленными к принятой системе учета наработок и отказов АТ в авиакомпании являются две модели.

Модель 1 – основана на оценке количества запасных элементов, необходимых для обеспечения эксплуатации АС на заданном интервале $[0, t_k]$, при достаточно большом интервале эксплуатации по сравнению со средним

временем между отказами. Отказы изделий каждого типа фиксируются в последовательные календарные моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n независимо от их наработки за предыдущий период $t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_n < t_k$, где $t_0 = 0$ – начало регистрации; t_k – конец регистрации.

Количество запасных элементов (ЗЭ), обеспечивающих заданную гарантийную вероятность замен $(1 - \alpha)$, $\alpha > 0$, определяется из выражения

$$n(t) = \frac{t}{T} + u_{\alpha} \frac{\sigma \sqrt{t}}{T^{3/2}},$$

где T – среднее время между отказами;

$$T = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (t_{i+1} - t_i),$$

σ^2 – дисперсия времени между отказами;

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-1} [(t_{i+1} - t_i) - T]^2,$$

u_{α} – квантиль нормального распределения, который находится по таблицам для нормального закона распределения из условия

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-u_{\alpha/2}}^{u_{\alpha/2}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = 1 - \alpha,$$

$n(t)$ – количество запасных элементов.

Монограммы количества запасных элементов в зависимости от вероятности $p = 1 - \alpha$ при математическом ожидании и среднем квадратичном отклонении времени между отказами равных $T = 500$, $\sigma = 200$, показаны на рис. 1.

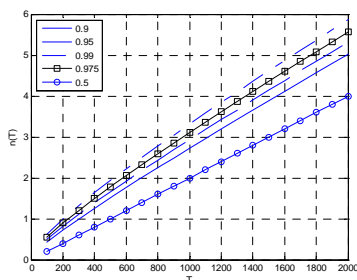


Рис. 1. Зависимость необходимого количества изделий взамен отказавших $n(t)$, гарантирующих заданную вероятность замен по модели 1

Модель 2 – основана на использовании распределения Пуассона путем сравнения наблюдаемого количества отказов n_{ϕ} с верхней границей регулирования (ВГР), представляющей собой допустимый уровень надежности. Наблюдаемое количество отказов в определенные интервалы времени имеет случайный характер от нуля до ВГР. Значение верхней границы регулирования определяется с использованием распре-

деления Пуассона. Верхняя граница регулирования определяет с принятой вероятностью $P_{\text{зад}}$ верхний предел отказов $n = \text{ВГР}$, который не будет превышен с заданной вероятностью $P_{\text{зад}}$ при наличии одних лишь случайных причин:

$$P_{\text{зад}} = \sum_{n=0}^{n=\text{ВГР}} \frac{(\omega_{\text{сТ}} T a)^n}{n!} e^{-\omega_{\text{сТ}} T a},$$

где T – налет парка самолетов; a – количество однотипных изделий на самолете; $\omega_{\text{сТ}}$ – запланированный параметр потока отказов; $P_{\text{зад}}$ – вероятность того, что количество отказов не превысит ВГР (в авиации обычно принимают $P_{\text{зад}} = 0,975$).

Монограммы количества изделий, не превышающего верхнюю границу регулирования с заданной вероятностью $P_{\text{зад}} = 0,975$ для различных прогнозируемых параметров потока отказов $\omega_{\text{сТ}} = \{0,4; 0,65; 0,8; 1,2; 1,6\} \times 10^{-3}$ и количества однотипных изделий $a = 1$ от наработки изделия T показаны на рис. 2.

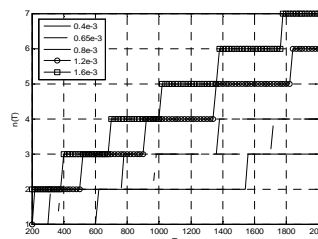


Рис. 2. Количество изделий, не превышающее верхнюю границу регулирования с вероятностью $P_{\text{зад}} = 0,975$ для различных параметров потока отказов (модель 2)

Определение качественных и количественных характеристик надежности базируется на статистических данных об отказах и неисправностях авиационной техники, выявленных в полете и в различных состояниях технического обслуживания и ремонта ВС.

Решение задач прогнозирования количества отказов изделий и формирования потребности в запасных частях осуществляется в рамках системы «Надежность ВС», для чего используется форма информация об отказах и неисправностях и наработках парка ВС данного типа. Основной формой сбора информации для статистического анализа надежности авиационной техники являются отчеты по отказам и наработкам АТ за квартал (рис. 3). Результатом прогнозирования по каждому типу авиационной техники является список агрегатов, фрагмент которого по системе ВС на заданный период эксплуатации показан на рис. 4.

Рис. 3. Учет отказов и неисправностей ВС на основе карты учета неисправностей (КУН)

Системы/агрегаты	Отказы	3-2006	4-2006	1-2007	2-2007	Сума прогнозу 1
077.ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ДВИГАТЕЛЯ	45	8	12	5	7	32
БПСР-4	11	2	3	1	2	8
БЭ-6М-6	6	1	1	1	1	4
БПСР-2	5	1	1	0	1	3
ПКТ-6М	2	0	0	0	0	1
БОСП-2	1	0	0	0	0	1
БПСР	1	0	0	0	0	1
ДТЭ-5Т	1	0	0	0	0	1
МВ-25-В	1	0	0	0	0	1
ПК-9Г	1	0	0	0	0	1

а

Системы/агрегаты	Отказы	3-2006	4-2006	1-2007	2-2007	Сума прогнозу 1
077.ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ДВИГАТЕЛЯ	45	14	19	11	13	44
БПСР-4	11	5	7	4	5	14
БЭ-6М-6	6	3	4	3	3	9
БПСР-2	5	3	4	2	3	8
ПКТ-6М	2	2	2	2	2	4
БОСП-2	1	1	2	1	1	3
БПСР	1	1	2	1	1	3
ДТЭ-5Т	1	1	2	1	1	3
МВ-25-В	1	1	2	1	1	3
ПК-9Г	1	1	2	1	1	3

б

Рис. 4. Прогнозирование отказов изделий системы «077.Приборы контроля двигателя»: а – прогноз на год с 01.07.2006 по 30.06.2007 с вероятностью 0,5; б – прогноз на год с 01.07.2006 по 30.06.2007 с вероятностью 0,975

Выводы

Одним из основных источников повышения экономической эффективности служб МТО авиационного предприятия является применение математических методов планирования, прогнозирования и принятия решений. Получение коммерческой выгоды ставится в соответствие от широкого использования современных форм и методов эксплуатации АТ, уменьшения стоимости авиационно-технического имущества за счет оптовых партий закупок, сокращения удельных расходов на их транспортировку и хранение, оптимизации запасов. При внедрении эксплуатации АС по состоянию эту проблему целесообразно решать на основе системного подхода, при котором должны быть учтены как мощность и гибкость централизованной системы обеспечения и снабжения, так и эффективность системы восстановления функциональных элементов АТ непосредственно в местах эксплуатации.

Литература

1. Барзилович Е. Ю., Воскобоев В. Ф., Эксплуатация авиационных систем по состоянию: (элементы теории). – М.: Транспорт, 1981. – 197 с.
2. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования/ Под. ред. И. М. Синдеева. – М.: Транспорт, 1984. – 191 с.
3. Надежность технических систем: Справочник / Под. ред. И. А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
4. Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
5. Соломонов П. А. Безотказность авиационной техники и безопасность полетов. – М.: Транспорт, 1977. – 272 с.
6. Техническая эксплуатация летательных аппаратов: Учеб. для вузов / Под ред. Н. Н. Смирнова. – М.: Транспорт, 1990. – 423 с.

Стаття надійшла до редакції 07.12.06.